

博士學位論文

内容の要旨
および
審査結果の要旨

甲 第 14 号

甲 第 15 号

甲 第 16 号

2019年度

東京都市大学

序

本編は学位規則（昭和 28 年 4 月 1 日文部省令第 9 号）第 8 条による公表を目的として、2019 年度内に本学において博士の学位を授与した者の、論文内容の要旨および論文審査の結果の要旨を収録したものである。

氏 名 (本籍)	タパ リタ (ネパール連邦民主共和国)
学 位 の 種 類	博士 (環境情報学)
学 位 記 番 号	甲第 14 号
学位授与の日付	2020 年 3 月 19 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
学位論文主題	Study on Thermal Environment and Adaptive Thermal Comfort of the Occupants in Temporary Shelters in Nepal after Massive Earthquake (ネパール大地震後の仮設住宅における温熱環境と熱的快適性に関する研究)
論文審査委員	(主査) 教授 リジャル ホム バハドゥル 教授 吉崎 真司 教授 飯島 健太郎 教授 加用 現空 宿谷 昌則 (東京都市大学 名誉教授)

論文内容の要旨

自然災害は人々が住居を利用できなくなる主な理由の一つであり、被災者には一時的な仮設住宅を提供する必要性が生じる。2015 年にネパールで発生した大地震の後、家を失った多くのネパール人は一時的な仮設住宅に居住する必要があった。一時的な避難所は個人の安全だけでなく熱的不快感からの保護、セキュリティ対策などに不可欠であると考えられる。このようなタイプの一時的な仮設住宅は、被災者が新しい滞在施設に移れるまで一般的に使用される。自然災害は世界中で頻繁に発生しているが、人命の大きな損失だけでなく、財産の損失、社会生活への影響、環境問題も引き起こす。ネパール大地震直後、人々は自分たちで住むための仮設住宅を建設したが、どのように室内環境を改善できるかについてはあまり意識していない。これらの仮設住宅の室内環境は、地域の気候の影響を強く受けており、健康への悪影響は計り知れない。

この研究には次の目的がある。1) 仮設住宅に使用される材料に基づいて室内の温熱環境特性を評価する。2) 大地震後に仮設住宅に住んでいる人々の許容温度範囲を明らかにする。更に、これら仮設住宅の温熱環境の改善の可能性を検討する。3) 大地震が被災者の生活に与えた影響を評価する。

これらを明らかにするために、温熱環境の測定と熱的快適性のアンケート申告を同時実施したフィールド調査を、大地震の影響を受けた主要な 5 地区の仮設住宅で実施した。フィールド調査は 2015～2016 年の秋、冬、夏の 3 季節において、ラリトプル、カトマンズ、

ゴルカ、シンドゥパルコウク、ダーディンにある 18 戸の仮設住宅で行われた。熱的快適性調査を通じて、合計 855 の仮設住宅がランダムに選択し、そこに居住する 1407 人 (547 人の男性と 860 人の女性) から申告データを収集した。社会的影響に関するデータは、424 人 (男性 177 人、女性 247 人) から収集した。

調査対象のすべてのシェルターの室温は、室外気温変動に大きく依存していた。特に、夜間の室温は昼間と比較してはるかに低くなっていた。調査対象の 4 つの地区の平均室内グローブ温度は、冬は $12.1\sim 18.5^{\circ}\text{C}$ 、夏は $26.9\sim 33.2^{\circ}\text{C}$ であり、季節差は約 20.1°C である。回答者の好みによると、冬に暖かく、夏に涼しくしたい申告が多い。4 つの地区の平均快適温度は $15.0\sim 28.6^{\circ}\text{C}$ であり、季節差は 13.6°C である。本調査における仮設住宅の居住者全体の 80% が受け入れられる室内グローブ温度は、 $11\sim 30^{\circ}\text{C}$ であることが分かった。

一方、冬の夜間の室内と外部の平均気温は、ラリトプルの 5 つの仮設住宅で 10.3°C と 7.6°C であり、夜間の室温は最低許容温度の 11°C 以下であった。この結果から、これらの仮設住宅は冬において寒い環境であり、快適性だけでなく健康上の様々な問題を引き起こす可能性が考えられる。このことから、実現可能性の高い改善案を検討するために、測定結果と建築材料に基づいてこれらの仮設住宅の熱的特性を分析した。改善の可能性を評価するため、室温の計算に簡略化された数値モデリングを使用し、エネルギー収支式をたてた。5 つの仮設住宅の床面積当たりの推定熱損失係数は、 $11.3\sim 15.2\text{ W / (m}^2\cdot\text{K)}$ であり、断熱性能が非常に低かった。仮設住宅の断熱性能の改善を想定して室温変動の数値解析を行った結果、室温を 11°C より高くするためには、仮設住宅の断熱性能を約 $2\sim 7\text{ W / (m}^2\cdot\text{K)}$ に低減する必要があることを明らかにした。これを実現するためには、例えば、それぞれの壁と屋根に発泡ポリエチレンフォームシートと厚い布といった手頃な材料を追加することで実現できることを明らかにした。

大地震時とその後の社会的状態についても調査を行ったところ、震災前に住んでいた住居のほとんどは完全に崩壊し、約 80% の人々が災害後にトタンで作られた仮設住宅に住んでいたことが明らかとなった。地震が発生している間、約 70% の人は屋外に、約 30% は室内に滞在していた。また、約 70% の人々はその劣悪な室内環境のために仮設住宅に満足していなかった。これらの仮設住宅には、プライバシー保護や排水システム、飲料水などの基本的な設備がないことも明らかとなった。

以上の結果から、仮設住宅における室内の温熱環境は、許容できる範囲より低く、冬は非常に寒く、夏は非常に暑く感じていることを明らかにした。また、エネルギー収支式を用いた分析を行ったところ、壁や屋根に発泡ポリエチレンフォームシートと厚い布を追加することで、仮設住宅の断熱性を向上させ、居住者の許容できる温熱環境に改善できることを明らかにした。現地調査に基づいた本研究で得られた知見は、仮設住宅を改善するガイドラインを作成するために有効的である。

論文審査の結果の要旨

2015 年、ネパールでは大地震が発生し、多くの被災者と住宅の損壊が発生した。多くの被災者は仮設住宅に一時的に生活していた。自然災害は世界中で発生しており、それらの被災者が居住しなければならない仮設住宅の実態と改善の可能性を検討することは重要な課題である。

本研究では、ネパールの大地震後に建設された仮設住宅において、温熱環境と熱的脚箇性及び被災状況の解明と、仮設住宅内の温熱環境の改善の可能性を検討することを目的として、ネパールの仮設住宅における温熱環境測定及び熱的主観申告調査、被災状況に関するアンケート調査を実施した。

本論文は 6 章で構成されている。

第 1 章では、ネパールの気候条件だけでなく、2015 年大地震の状況や仮設住宅についても説明している。また、仮設住宅に関する既往研究も紹介することで、本研究の位置づけを明確にしている。

第 2 章では、仮設住宅の室内温熱環境について述べている。2015～2016 年の秋・冬・夏の 3 つの季節に、温熱環境の測定と熱的快適性のアンケート調査を同時に実施している。調査対象とした住宅は大地震の影響を受けた主要 5 つの地域にある。熱的快適性調査では合計 855 の仮設住宅をランダムに選択し、そこに居住する 1407 人（男性 547 人、女性 860 人）から申告データを収集している。社会的影響に関するデータも 424 人（男性 177 人、女性 247 人）から収集している。調査対象の全ての仮設住宅の室温は外気温変動に大きく依存しており、特に夜間の室温は昼間と比較してはるかに低くなっている。調査対象の全地域の平均室内グローブ温度は、冬に 12.1～18.5℃、夏に 26.9～33.2℃であり、季節差は約 20℃である。

第 3 章では、仮設住宅内の居住者の熱的快適性について述べている。適温感申告は冬に暖かく、夏に涼しくしたい申告が多い。全地域の平均快適温度は 15.0～28.6℃であり、これは室内平均グローブ温度の変動範囲よりも狭い。本調査における仮設住宅の居住者全体の 80%が許容できる室内グローブ温度は 11～30℃であることを明らかにしている。

第 4 章では、仮設住宅における温熱環境の改善の可能性について述べている。ラリトプール地域において既に建てられた仮設住宅に対する実現可能性の高い改善案を検討するために、測定結果と建材熱特性を用いてこれらの仮設住宅の室内温熱環境について分析した。改善の可能性を評価するために建築内外の熱収支モデルに基づく室温変動の数値計算を行

った。分析対象とした5つの仮設住宅の床面積当たりの推定熱損失係数は $11.3 \sim 15.2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ であり、断熱性能が非常に低い。仮設住宅の断熱性能の改善を想定して室温変動の数値解析を行った結果、許容できる室温である 11°C 以上にするためには仮設住宅の断熱性能を $2 \sim 7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ まで低減する必要があることを明らかにした。そして、これを実現するためには、壁と屋根に発泡ポリエチレンフォームシートと厚い布といった地域で入手できる建材が利用可能であることを明らかにしている。

第5章では、居住者の被災時及び被災後の状況について述べている。地震発生時には、約70%の人は屋外に滞在していたのに対して、約30%は室内に滞在していたことを明らかにしている。更に、震災前に住んでいた住居の殆どは完全に崩壊し、約80%の人々が災害後にトタンで作られた仮設住宅に居住していることを明らかにしている。また、約70%の人々はその劣悪な室内環境に満足していなかった。これらの仮設住宅にはプライバシー保護や排水システム、飲料水などの基本的な設備がないことも明らかにしている。

第6章では、各章で明らかになったことを要約して結論としている。

以上のことから、2015年のネパール大地震において多くの住宅が倒壊し、多くの人々が仮設住宅に居住しているが、仮設住宅内の温熱環境性能は快適ではなく、居住者自身も許容しにくいと認識していた。そこで、実際の仮設住宅を想定した室温変動の数値計算を行った結果、壁と屋根に発泡ポリエチレンフォームシートと厚い布を追加することで、居住者の許容できる室温の下限值 11°C よりも高い室内環境を維持できることが明らかになった。

2015年のネパール大地震後の仮設住宅における温熱環境と熱的快適性及び被災状況を明らかにした本論文は、この大地震がもたらした被害実態の資料になるだけでなく、災害時の仮設住宅の環境構築に役立つ指針の作成においても重要な知見を提供していると考えられ、博士（環境情報学）の学位論文に値するものと判断する。

氏 名 (本籍)	阿部 寛人 (北海道)
学 位 の 種 類	博士 (環境情報学)
学 位 記 番 号	甲第 15 号
学位授与の日付	2020 年 3 月 19 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
学位論文主題	集合住宅における温熱環境・エネルギー使用・行動変容に関する研究
論文審査委員	(主査) 教授 リジャル ホム バハドゥル 教授 伊坪 徳宏 教授 飯島 健太郎 宿谷 昌則 (東京都市大学 名誉教授) 坊垣 和明 (東京都市大学 名誉教授)

論文内容の要旨

日本では建物性能の技術向上により、省エネルギー効果を高められている。一方で、住まい手の意識や行動は省エネルギー効果に大きく貢献すると考えられているが、今後は具体的な対策を必要としており、特に高度経済成長期以来増加し続ける集合住宅における住まい手の省エネルギー行動促進のための研究は必要とされている。しかしながら、住まい手が省エネルギーのために自ら行動を変容させ習慣化することは難しい。住まい手が小さなエネルギーで行動するためには、人間が本来、生理的に快適領域（空間や現状の安定している生活）を維持するために無意識に行動することを前提に考えなければいけない。そこで、住まい手が自然に行動変容し習慣化する影響要因である温熱環境と身近な生活課題や願望達成のための情報の在り方に着目した。つまり、快適かつ身近な生活に必要で省エネルギーに結び付く行動であれば、その行動は新たに習慣化することが可能となる。また、近年、エネルギー使用量に関しては詳細なデータ取得が可能となったため、住まい手の特徴との関係を明らかにするものとして分析する必要がある。

そこで、本研究は、小さなエネルギー使用で快適かつ住まい手の生活向上を実現するために、集合住宅の住まい手と住空間に関する温熱環境・エネルギー使用・行動変容をテーマとして省エネルギーに結び付く住まい手の行動や空間の在り方を明らかにすることを目的とする。

分析手法として、温熱環境については、気温・グローブ温度の関係の変化を分析し、エネルギーについては電気・ガス・水道の使用量と 657 の住まい手に関する特徴を決定木やランダムフォレストなどの統計学手法を用いて分析した。また、行動変容については、1030 人に対してアンケートにより性別・年代などの基本属性や 60 個の生活情報に関する認知度・実行度・情報取得意欲について調査し、分析を行った。

温熱環境では、緑のカーテンの成長が、バルコニーの温熱環境を時間の経過とともに緩和することを明らかにした。また、居住実態を伴う集合住宅の緑のカーテンによるバルコニーの温熱緩和効果と冷房使用時間との関係について明らかにした。具体的には、グリーンカーテンがある世帯は、ない世帯よりエアコンの使用時間が40%少ないことや、グリーンカーテンがある世帯の方が、ない世帯よりもバルコニーの気温が0.6℃低いことが明らかにした。よって、小さなエネルギーで快適な環境は住まい手自らの行動で作り出せることを明らかにした。

エネルギー使用では、住まい手の様々な情報の中でも、住まい手の新居に入居する前の行動や環境、省エネルギーに対する意識、所有家電などがエネルギー使用に影響を及ぼしていることが明らかにした。また、機械学習の分析手法により、以前の住まいの間取りや仕様などの13個の住まい手に関する情報があれば、エネルギーの使用が多い世帯を抽出することができることを明らかにした。このように、エネルギー使用のデータを用いることにより、従来研究が行われてきた基本属性（家族人数・年代など）よりもエネルギー使用に影響する住まい手の特徴を明らかにすることができた。

行動変容では、住まい手の願望達成や課題解決のための行動かつ省エネルギー効果のあるものは、70%以上が積極的に行動変容する可能性があることが示唆された。また、生活情報の取得意欲は女性の意識が高いことや、50代において食生活や健康の情報に関する意識が高いことを明らかにした。このように、省エネルギーに結び付く身近な生活課題や願望達成に関する情報は住まい手の行動を変容させる可能性を高め得ることを明らかにした。

以上の結果の中でも、エネルギー使用は、以前の住まいの在り方が関係していることから、住まい手の行動は転居のような大きな環境の変化による影響があっても変容しにくいことを示唆している。一方で、本研究で明らかとなった住まい手が快適環境に関与することへの支援や、住まい手の特徴に合わせた情報提供を、住まい手の身近な生活に合わせて認知・実践・関連する情報取得のプロセスで行えば、新しい習慣が形成される可能性の一端を見出した。

今後は、増え続ける集合住宅ストックに対応するために、室内やバルコニー空間の温熱環境と住まい手のエネルギー使用のデータを十分に取得し、大学や企業が連携し分析考察した情報を、住まい手の行動が習慣化するための継続的なコミュニケーションの在り方を構築することが課題である。

本研究の成果が、このような社会システムが構築されることで環境情報分野の教育と住まい手の快適で豊かな暮らしの向上に役立つきっかけとなることを期待したい。

論文審査の結果の要旨

日本では建物性能の技術向上により、省エネルギー効果が高まっている。一方で、住まい手の意識や行動は省エネルギー効果に大きく貢献していると考えられているが、住まい手が省エネルギーのために自ら行動を変容させ習慣化することは難しい。ストック数が増加し続けている集合住宅においても、今後は省エネルギーのための実効性の確実な対策が必要である。そこで、集合住宅を対象として、住まい手の意識と行動がエネルギー使用に及ぼす影響を検討することとした。住まい手の行動の前提として、人は本来、生理的に快適な領域を維持するために無意識に行動しているということに配慮する必要がある。すなわち、省エネルギーに結び付き、かつ、快適で身近な生活に必要な行動であれば、その行動は新たに習慣化できると考えられる。ここに着目し、住まい手の快適性とエネルギー使用ならびに行動を分析する必要があると考えた。本研究では、温熱環境・エネルギー使用・行動変容の 3 つのテーマについて、住まい手の省エネルギーに結び付く行動と要因を明らかにするために、以下の目的を設定した。

- 1) 集合住宅における緑のカーテンによる暑熱緩和効果
- 2) エネルギー使用の予測手法を用いた住まい手の特徴の把握
- 3) 省エネルギーに結び付く身近な生活情報による住まい手の特徴の把握および情報提供の有効性の検証

本論文は 7 章で構成されている。

第 1 章では、研究の背景を述べるとともに、行動科学分野や認知心理学の先行研究を挙げながら、省エネルギー効果のある住まい手の行動を持続可能なものにするための重要な着眼点を述べ、本研究の位置づけを明確にしている。また、設定した 3 つの研究テーマの体系を明確化し、本研究の新規性について述べている。

第 2 章では、温熱環境について述べている。緑のカーテンの成長に伴って、バルコニーの暑熱環境緩和効果が増大することを、気温・グローブ温度の関係性を分析して明らかにしている。また、居住状態において、集合住宅の緑のカーテンによるバルコニーの暑熱緩和効果と冷房使用時間の関係について、緑のカーテンがある世帯は、ない世帯よりエアコンの使用時間が 40% 少ないことや、緑のカーテンがある世帯の方が、ない世帯よりもバルコニーの気温が 0.6℃ 低いことを明らかにした。これらの結果から、少ないエネルギーで快適な温熱環境を住まい自らの行動で作出させることを導き出した。簡便に行える緑のカーテンの育成による暑熱緩和効果が確かめられたことにより、増え続ける日本の集合住宅ストックへの波及・普及効果が十分に見込める可能性を示した。

第3章では、近年 HEMS の導入により 30 分間隔で取得可能になったエネルギー使用量の特性を活かし、24 時間のエネルギー使用パターンを 8 つに分類できることを明らかにしている。また、24 時間内でのエネルギー使用のピークは朝と夜にあり、夜のエネルギー使用量が特に大きいことを明らかにした。

第4章では、エネルギーデータとアンケートデータを用いて統計分析を行い、13 個の質問を用いればエネルギーを大量に使用する住まい手を抽出することが可能であることを示している。住まい手の様々な情報の中でも、新居に入居する前の行動や、環境・省エネルギーに対する意識、所有家電などがエネルギー使用に強く影響を及ぼしていることを明らかにしている。

第5章では、ランダムフォレスト手法を用いて、アンケートデータからエネルギー使用の予測が可能であることを確認するとともに、予測に使用された住まい手の特徴を明らかにしている。約 20 個の住まい手情報を用いれば精度よくエネルギー使用を予測することが可能であり、住まい手のエネルギー使用量を事前に知ることができることを示している。

第6章では、行動変容について述べている。1030 人を対象としたアンケートにより、性別・年代などの基本属性や 60 個の生活情報に関する認知度・実行度・情報取得意欲について調査・分析を行っている。行動変容では、住まい手の願望達成や課題解決のための行動で、かつ省エネルギー効果があるものは、70%以上が積極的に行動変容を受容することが示唆された。また、生活情報の取得意欲は女性の意識が高いことや、50 歳代において食生活や健康の情報に関する意識が高いことを明らかにした。このように、省エネルギーに結びつく身近な生活課題や願望達成に関する情報は、住まい手の行動を変容させる可能性があることを明らかにした。

第7章では、各章で明らかになったことを要約して結論としている。

以上より、住まい手による緑のカーテン育成がもたらす暑熱緩和効果、エネルギー使用に関する住まい手の特徴及び省エネルギーに結びつく身近な生活に関する情報提供の有効性を明らかにした。

集合住宅における温熱環境・エネルギー使用・行動変容の要因を明らかにした本論文は、住空間の快適性を維持しつつ住まい手の主体的な省エネルギー行動促進に資するところが大きく、また、建築環境学の発展に寄与するところが大きいと考えられ、博士（環境情報学）の学位論文に値するものと判断する。

氏 名 (本籍)	一杉 佑貴 (神奈川県)
学 位 の 種 類	博士 (環境情報学)
学 位 記 番 号	甲第 16 号
学位授与の日付	2020 年 3 月 19 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
学位論文主題	拡張型産業連関分析に基づく環境フットプリント評価
論文審査委員	(主査) 教授 伊坪 徳宏 教授 馬場 健司 教授 佐藤 真久 教授 古川 柳蔵 近藤 康之 (早稲田大学 政治経済学術院)

論文内容の要旨

パリ協定や IPCC の特別報告書で述べられている GHG 排出量削減のために、国単位で約束草案を作成し環境政策を宣言している。その対策は国化石由来の燃料効率の改善、再生可能エネルギーの導入などが挙げられているが、将来を見据えたサプライチェーンを網羅した評価手法が必要である。

資源効率化、資源循環に対する需要が高まる一方で、気候変動との関わりも重要視されるようになった。これは、新しい製品を全て新しい素材で作るより、環境負荷が低減するからである。一方で、廃棄物の発生起源での総量を把握し、対策は考えられているものの、それが、家計、事業所、政府といった、どの最終需要由来であるのかといった評価が行われていない。

これらを背景にサプライチェーンを考慮する分析手法として、産業連関分析 (IOA) をもちいた評価が行われることが多い。これは、Leontief (1970) によって開発された手法であり、経済波及効果に環境負荷を紐づけることで、最終需要に伴う環境負荷を直接負荷だけでなく、波及後の間接的な負荷の分析を可能とした手法である。この手法の応用として、廃棄物フローを分析するための廃棄物産業連関表が開発されてきた。このような分析が可能となる一方で、将来の環境負荷を推計するには課題があるのが現状である。なぜなら、各産業と産業の取引額に対する推計にシナリオに基づく仮定が必要となるからである。

環境負荷の将来推計では、統合評価モデル (IAMs) を用いた分析が行われている。これは、対象とする国や地域における人間の経済活動に伴う環境負荷を経済構造や GDP、エネルギー需要をベースに推計することが可能なモデルである。特に将来の GHG 排出量を推計することや、GHG 推計のための将来社会シナリオの検討に用いられる。一方で、IOA のような将来のサプライチェーンに着目した分析は明示的に行われてこなかった。

そこで、本研究では気候変動への対策として、廃棄物マネジメントを検討するために廃棄物フ

ットプリントの推計と将来の気候変動への影響を CFP の将来推計という二つのアプローチを行った。特に、LCA の研究分野で用いられる、環境型産業連関表の利用方法を廃棄物に特化した表に詳細化した廃棄物産業連関表を利用したこと、将来という時間軸を考慮した将来の産業連関表という二つの側面で拡張を検討した。

第 1 章では気候変動の現状を整理しつつ将来への影響の推計方法及び、各国の取り組みについて整理した。次に廃棄物の現状を整理し、政府の取り組みと既存研究を整理し、現状の評価方法を確認したうえで、資源循環と気候変動の関係性を整理した。

第 2 章では序論で整理した背景と既存研究の整理を基に、産業連関分析の拡張という位置づけで、廃棄物産業連関表を用いた廃棄物フットプリントを推計し、同じ手法体系で推計される CFP と比較することで、廃棄物と気候変動の両者を同時に考えるという構想、統合評価モデルをもちいた産業連関表の将来推計という構造の 2 つのアプローチに至ったことを述べた。

第 3 章では、最終需要が誘引する廃棄物の発生量、投入量及び処理量を廃棄物フットプリントとして推計を行い、CFP との比較を行った。飲食料品の上流で、家畜の糞尿の影響が大きく起因することや流通における包装で用いられる、紙、プラスチックのフットプリントがホットスポットになっていることが分かった。さらに建設ではがれきのフットプリントが大きく寄与することが明らかになった。したがって、サプライチェーンを網羅した結果、上流側すなわち材料調達の段階での廃棄物発生量の低減が気候変動への影響も低減させることができるということが明らかになった。

第 4 章では、統合評価モデルを用いた産業連関表の将来推計を行い、約束草案のシナリオに基づく CFP の将来推計を行った。部門分類がより詳細であること、家計、固定資本、政府といった最終需要による CFP を生産基準、消費基準で分析することにより、どの活動によりどの産業での CFP なのかを詳細に分析することができた。既存研究からもわかるように、総エネルギー需要を抑えることで CFP の値が下がることを確認しつつ、家計では電力使用量を抑えるための省エネルギーが有効であることに加え、対個人サービスの利用が増えるという予測から、第三次産業での CFP の低減にも配慮する必要があるという知見を得た。固定資本では消費基準の約半分が建設業由来であり、建材を調達する段階の鉄鋼や建材を加工する窯業・土石の部門における CFP について検討する必要があるということが分かった。さらに、建設時に用いる重機械を動かすための燃料にも配慮する必要があるということが明らかになった。政府では、主に国や自治体の活動として、公務、医療・福祉、教育・研究が占める CFP がほとんどであった。また、高齢者社会になることから、医療・福祉での CFP が増加することが見込まれた。さらに炭素生産性をプロットした散布図から、約束草案に基づくシナリオでは、2005 年から 2030 年にかけて経済成長を遂げつつ、炭素税の導入により温暖化への影響を低減させることができるという知見を得た。

第5章では本研究成果の結論として、研究の成果及び今後の課題について述べた。

本研究により、廃棄物フットプリントの成果では、どの最終需要によりどの産業の負荷が起因するかということが明らかになったことで、廃棄物マネジメントの検討を気候変動と合わせて行うための意思決定に持ちることができる情報を示すことができた。

CFPの将来推計では、今まで明示されて来なかったサプライチェーンの関係性を生産基準と消費基準で分析することにより明らかにすることができた。これにより、将来の温暖化対策を行う際に、エネルギー政策だけでなく、サプライチェーンを網羅するという観点から、どの産業に対する取り組みを政府が着目すべきか、という情報を示すことができた。

論文審査の結果の要旨

LCA(Life Cycle Assessment)は 1997 年に評価手順が国際規格化(ISO14040)されてから、国際的に、かつ、急速に普及してきた。これまでは産業によるエコマテリアルやエコデザインを対象にした分析例が多かったが、利用例の広がりに伴い、組織や政策評価への活用が期待されている。この期待に応えるためには、SBT(Science Based Target)の設定において将来における環境負荷量を基に目標設定するように、カーボンフットプリントの将来予測に関する分析が求められる。さらに、現在の LCA は、気候変動、水、土地、資源など様々な領域を網羅するが、廃棄物に関する評価は実施例が見られるものの、消費する側に立ったフットプリント分析は十分な状況にない。

そこで本研究では、産業連関分析を基調として、評価軸と時間軸の二つの方向について拡張した分析を行った。ひとつは廃棄物の入出力を拡張した廃棄物産業連関表を利用した廃棄物フットプリントの実施である。もうひとつは統合評価モデルを用いて日本のカーボンフットプリントの将来予測である。本論文は以下の 5 章で構成されている。

第 1 章では、気候変動に関する科学的知見の現状について総括したうえで、気候変動の将来予測を行うためのモデルと廃棄物に関する分析を行うためのモデルに関する既存研究を比較し、特徴と課題について整理した。

第 2 章では、序論で整理した背景と既存研究の整理を基に、廃棄物フットプリントの推計と統合評価モデルを用いたカーボンフットプリントの将来予測を行うことを研究目的として示した。さらに、本研究目的を達成するための手法と枠組みについて合わせて示した。

第 3 章では、最終需要が誘発する廃棄物の発生量と処分量についてライフサイクルの視点から表す廃棄物フットプリントの推計方法と結果を示した。廃棄段階のみでなく、生産・使用段階における廃棄量も相応に大きく、消費財によってその傾向は大きく異なることから、業種ごとに廃棄物削減のための効果的なアプローチを示すことが重要であることが明らかとなった。例えば、飲食料品は上流で家畜の糞尿の影響が大きく、流通業では紙やプラスチック製の容器包装が大きく、建設では建設前に解体により発生するがれき類が大きいという結果が得られた。また、評価結果は消費者の視点のみでなく、生産者の視点に基づく評価結果と比較して、複数のステイクホルダーによる廃棄物削減のためのコミュニケーションツールを構築することができた。

得られた結果はカーボンフットプリントと比較することで、廃棄物の削減を通してカーボンフットプリントを低減することができる有効策について考察した。これにより、気候変動と廃棄物問題のコベネフィットやトレードオフについて検討するための基盤を提供することができた意義は大きい。

第4章では、統合評価モデルを用いた産業連関表の将来予測結果を活用して、約束草案のシナリオに基づくカーボンフットプリントの将来推計を行った。最終消費の主体ごとに結果を示すことで、主体別に効果的な温室効果ガス削減方法を示すことができた。生産基準、消費基準の双方について結果を示すことで、消費行動と生産行動を体系化した検討が可能となった。

家計消費においては、外食や小売などサービス産業による負荷が相対的に大きいことが分かった。従って、サービス産業における温室効果ガス削減方策の導入をより積極的に求めていくことの重要性が確認された。固定資本では、消費基準の約半分が建設業由来であった。鉄鋼やセメント業など建材を調達する段階の負荷が大きいことから、これらの産業との連携による温室効果ガスの削減が特に重要であることが示された。政府では、国や自治体の活動である公務、医療・福祉、教育・研究が占める CFP が大半を占めた。特に今後少子高齢化が進む日本にとって、医療・福祉関係の CFP は今後むしろ増えるものと予測された。

第5章では、各章で得られた知見を総括し、今後の課題について言及している。

以上をまとめると、本論文は産業連関分析を拡張して、CO₂ の排出を将来推計し、かつ、廃棄物を対象にしたライフサイクル思考のフットプリント分析を国レベルで算定したものである。消費基準に注目した分析結果を示すことで、従来より統計等で示されてきた生産基準とは異なる観点で結果を考察することを可能にするとともに、グリーン購入やサプライチェーンマネジメントを行うために有用な情報を得た。さらに、産業や最終需要部門ごとに注目した分析を行うことで、購入や調達する立場から見た結果が得られ、環境コミュニケーションの促進に貢献するものと期待された。

気候変動政策や廃棄物処理産業を対象に広範な視点から科学的な情報を提供することに貢献した本研究論文は、ライフサイクル影響評価手法の発展に寄与するところが極めて大きいと考えられ、博士（環境情報学）の学立論文に値するものと判断する。